

DE 19948742
1327.005us1

1/9/1

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI

(c) 2002 Thomson Derwent. All rts. reserv.

013541905 **Image available** WPI Acc No: 2001-026111/200104

XRAM Acc No: C01-008215 XRPX Acc No: N01-020347

Electrochemical capacitor used e.g. in telecommunications consists of single cell(s) with electrodes formed of an electrically conducting or semiconducting nano-structured film

Patent Assignee: DORNIER GMBH (DOSY)

Inventor: BOEHMISCH M; HAAS C; SCHERBER W

Number of Countries: 020 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 19948742	C1	20001228	DE 1048742	A	19991009	200104 B
WO 200127947	A1	20010419	WO 2000DE3446	A	20000930	200124

Priority Applications (No Type Date): DE 1048742 A 19991009

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
DE 19948742	C1		7	H01G-009/058	
WO 200127947	A1	G		H01G-009/058	

Designated States (National): JP US

Designated States (Regional): AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT
LU MC NL PT SE

Abstract (Basic): DE 19948742 C1

NOVELTY - Electrochemical capacitor consists of a single cell or a stack of single cells. Each cell comprises an electrode (8), a counter electrode (9) and an electrolyte (6) that moistens the electrodes. The electrodes are formed of an electrically conducting or semiconducting nano-structured film. Nano-structured discrete needle-like elements are anchored to one surface.

USE - Used as a double layer capacitor or super capacitor for storing energy in electrotraction and in telecommunications.

ADVANTAGE - The capacitor has improved performance.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a cross-section through a single cell.

electrolyte (6)

electrode (8)

counter electrode (9)

pp; 7 DwgNo 3/5

Technology Focus:

TECHNOLOGY FOCUS - INORGANIC CHEMISTRY - Preferred Materials:

The nano-structured elements are made of a metal, a galvanometal, e.g. nickel, a precious metal or a conducting polymer.

Title Terms: ELECTROCHEMICAL; CAPACITOR; TELECOMMUNICATION; CONSIST; SINGLE; CELL; ELECTRODE; FORMING; ELECTRIC; CONDUCTING; SEMICONDUCTOR; NANO; STRUCTURE; FILM

BEST AVAILABLE COPY



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 199 48 742 C 1

⑤1 Int. Cl.⁷:
H 01 G 9/058
B 82 B 3/00
H 01 M 14/00

②1 Aktenzeichen: 199 48 742.1-33
②2 Anmeldetag: 9. 10. 1999
④3 Offenlegungstag: -
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 28. 12. 2000

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:
Dornier GmbH, 88039 Friedrichshafen, DE

⑦4 Vertreter:
Meel, T., Dipl.-Phys., Pat.-Ass., 88709 Meersburg

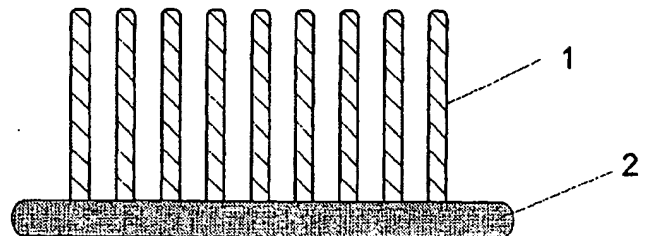
⑦2 Erfinder:
Scherber, Werner, Dr., 88697 Bermatingen, DE;
Böhmisch, Mathias, Dr., 78224 Singen, DE; Haas,
Cornelius, Dr., 88048 Friedrichshafen, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 197 24 712 A1
EP 07 12 143 A2
WO 98 15 962 A1

⑤4 Elektrochemischer Kondensator, insb. Doppelschichtkondensator oder Superkondensator

⑤7 Die Erfindung betrifft einen elektrochemischen Kondensator aus einer Einzelzelle oder einem Stapel von Einzelzellen, wobei jede Einzelzelle eine Elektrode (8), eine Gegenelektrode (9) sowie einen die Elektroden benetzenden Elektrolyten (6) umfaßt. Erfindungsgemäß sind die Elektroden (8, 9) aus einem elektrisch leitfähigen oder halbleitenden, nanostrukturierten Film gebildet, bei dem nanostrukturierte diskrete, nadelförmige Elemente (1, 3) auf einer Oberfläche elektrisch leitfähig verankert sind.



DE 199 48 742 C 1

DE 199 48 742 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen elektrochemischen Kondensator nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Elektrochemische Kondensatoren, in der Literatur auch als Doppelschichtkondensatoren oder Superkondensatoren bezeichnet, sind elektrochemische Energiespeicher, die sich gegenüber Batterien durch eine deutlich höhere Leistungsdichte, gegenüber konventionellen Kondensatoren durch eine um Größenordnungen höhere Energiedichte auszeichnen. Sie beruhen auf der potentialgesteuerten Ausbildung von Helmholtz-Doppelschichten und/oder elektrochemischen Redoxreaktionen hoher Ladungskapazität und Reversibilität an elektrisch leitfähigen Elektrodenoberflächen in geeigneten Elektrolyten. Vorrangige potentielle Einsatzgebiete mit besonderer wirtschaftlicher Bedeutung liegen beispielsweise in den Bereichen Elektromotoren (Kraftfahrzeuge) und Telekommunikation. Hierbei kann durch Abfangen von Leistungsspitzen die Nennleistung der primären Energiequelle reduziert, die Lebensdauer und Reichweite verlängert und damit die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems wesentlich verbessert werden.

Zur Herstellung der Superkondensator-Elektroden haben sich die auf Aktivkohlenstoffen basierenden Werkstoffkonzepte durchgesetzt, denen in Kombination mit organischen Elektrolyten hinsichtlich Leistungsdaten und Kosten derzeit das größte Marktpotential zugeschrieben wird. Es existieren erste Produkte im Kleinserienstadium, die Energiedichten von etwa 3 Wh/kg erreichen, z. B. WO 98/15962 A1. Des weiteren existieren eine Vielzahl von Konzepten zur Herstellung dieser Aktivkohlenstoff-Superkondensatoren bzw. deren Elektroden, z. B. EP 0 712 143 A2, DE 197 24 712 A1. Typischerweise lassen sich hier maximal 50 bis 100 Farad Kapazität pro Gramm des aktiven Elektrodenmaterials erreichen. Bei einem Superkondensator selbst entfallen derzeit ca. 25 Massenprozent auf die eigentlichen Elektroden und ca. 75 Massenprozent auf Gehäusebauteile, Stromkollektoren und Elektrolyt. Zur Anwendung als Spitzenlastspeicher ist bei diesen Elementen jedoch das Verhältnis aus Nutzenergie und Speichergewicht vielfach noch zu klein, um in realen Anwendungen ökonomisch sinnvoll zum Einsatz zu kommen. Die Optimierung der Leistungsdaten kann also sowohl über das Stapeldesign (mehrere elektrisch in Serie geschaltete Einzelzellen übereinander gestapelt) als auch über die eigentlichen Kondensatorelektroden (Oberflächenstrukturen und Materialien) erfolgen.

Aktivkohlematerialien weisen zwar eine extrem hohe poröse Oberfläche auf, aber die Verteilung der Porengrößen ist sehr breit und erstreckt sich hinunter bis in den Bereich ≈ 1 nm. Da typische Helmholtz-Schichtdicken selbst bei bis zu 5 nm liegen, kann bei diesem Elektrodenmaterial die Helmholtz-Speicherschicht nicht vollständig an der tatsächlich vorhandenen Oberfläche ausgebildet werden.

Die typischerweise eher schwammartige Geometrie von Aktivkohlematerialien wirkt sich zusätzlich auch nachteilig auf das Frequenzverhalten der Kapazität aus. Denn sie ist für den Elektrolyten gleichbedeutend mit relativ langen und engen Wegen und daher zwangsläufig mit einem relativ hohen ohmschen Innenwiderstand verknüpft. Aufgrund der hohen, dazu in Serie geschalteten Kapazitäten führt dies zu einer Herabsetzung der Grenzfrequenz des Gesamtelementes, d. h. bereits bei moderaten Frequenzen (typischerweise etwa 1 Hz) sind nur noch Bruchteile der bei Gleichspannung verfügbaren Elektrodenkapazität nutzbar. Dies schränkt den praktischen Einsatz von Superkondensatoren mit derartigen Elektroden weiter ein.

Weiterhin ist von Aktivkohlelektroden bekannt, dass

aufgrund hoher Übergangswiderstände zu Metallen wie Aluminium eine niederohmige Kontaktierung des aktiven Elektrodenmaterials nur schwierig und mit erhöhtem Aufwand (an Masse bzw. Volumen, und damit auch Kosten) zu bewerkstelligen ist. Zusätzlich führt die i. d. R. vorhandene körnige innere Struktur des Elektrodenmaterials – ebenfalls durch Kontaktwiderstände – zu einem erhöhten Innenwiderstand der aktiven Elektrode selbst.

Neben der bereits beschriebenen negativen Auswirkung auf das Frequenzverhalten bewirkt der relativ hohe ohmsche Widerstand auch dissipative Verluste, die durch die einhergehende thermische Belastung des Bauteiles dessen Einsatzmöglichkeiten noch weiter einschränken bzw. bei entsprechenden konstruktiven Maßnahmen (Kühlbleche etc.) die nutzbare massen- wie auch volumenbezogene Energiespeicherdichte drastisch reduzieren.

Der vorliegenden Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen Superkondensator mit gegenüber den bekannten Kondensatoren verbesserten Leistungsdaten zu schaffen, dessen Elektrodengeometrie und Elektrodenmaterial gleichzeitig ein deutlich verbessertes Stapeldesign erlauben.

Diese Aufgabe wird mit dem Gegenstand des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Erfindungsgemäß sind die Elektroden aus einem elektrisch leitfähigen oder halbleitenden, nanostrukturierten Film gebildet, bei dem nanostrukturierte diskrete, nadelförmige Elemente auf einer Oberfläche elektrisch leitfähig verankert sind.

Nanostrukturiertes Element im Sinne der vorliegenden Erfindung bezeichnet dabei eine Materialstruktur mit Abmessungen wenigstens einer Strukturdimension im Nanometerbereich ($<1 \mu\text{m}$).

Mit den erfindungsgemäßen Elektroden wird eine große effektive Oberfläche zur Ausbildung der Helmholtz-Speicherschicht erzeugt. Deren Größe an einer ebenen metallischen Oberfläche beträgt im wässrigen Elektrolyten typischerweise etwa $40 \mu\text{F}/\text{cm}^2$. Die Flächendichte der nanostrukturierten Elemente liegt bevorzugt im Bereich von $1\text{--}500 \text{ pro } \mu\text{m}^2$, deren Durchmesser bevorzugt im Bereich von $15\text{--}500 \text{ nm}$, womit z. B. für metallische Strukturen die notwendige Materialstabilität gewährleistet wird. Das Aspektverhältnis (Verhältnis zwischen Höhe und mittlerem Durchmesser) der nanostrukturierten nadelförmigen Elemente ist in vorteilhaften Ausführungen größer als 20.

Im Gegensatz zu den bekannten schwammartigen Elektrodenstrukturen erlaubt die erfindungsgemäße diskrete – bevorzugt regelmäßige – Anordnung der nanostrukturierten Elemente darüber hinaus auch ein schnelleres und vollständigeres Ausbilden der Helmholtz-Schichten an der vorhandenen Oberfläche und damit eine deutliche Verbesserung der Leistungseigenschaften.

Weiterhin werden durch die erfindungsgemäße Elektrodenstruktur in Form lateral angeordneter nanostrukturierter Elemente die thermischen Verluste bei Lade- und Entladevorgängen reduziert und damit der Einsatzbereich der Superkondensatoren auch für höherfrequente Anwendungen ($>1 \text{ Hz}$) erweitert. Eine gut elektrisch leitfähige (z. B. metallische) Trägerfolie und hierauf kontaktierte gut elektrisch leitfähige (z. B. metallische) nanostrukturierte Elemente, insbesondere aus demselben Material, minimieren die Material- und Kontaktwiderstände deutlich. Dies wird darüber hinaus durch den Einsatz einkristalliner nanostrukturierter Elemente unterstützt, wie sie bei geeigneten Wachstumsprozessen (z. B. elektrochemische Abscheidung) gebildet werden können.

Bei Kenntnis der Geometrieparameter der nanostrukturierten Elemente (Durchmesser, Aspektverhältnis und Flä-

chendichte) läßt sich die effektive Oberfläche einer einzelnen Elektrode direkt ermitteln. Es hat sich gezeigt, dass bei der Herstellung der Elektrode durch elektrochemisches Wachstum mittels einer geeigneten Wahl der Konzentration auch Elemente mit zusätzlicher innerer schwammförmiger Porosität sowie hohlzylinderförmige Elemente (Röhrchen) gebildet werden können. Dadurch kann eine weitere Vergrößerung der effektiven Oberfläche um mindestens einen Faktor zwei und damit einer Vergrößerung der Helmholtz-Kapazität erreicht werden.

Einige Metalloxide (z. B. RuO_2) oder leitfähige Polymere erlauben in geeigneten Elektrolyten eine Energiespeicherung durch an der Oberfläche ablaufende Redoxreaktionen. Die Umladung solcher Redoxsysteme an der Elektrodenoberfläche führt neben der Ausbildung der Helmholtz-Doppelschicht zu einer zusätzlichen Elektrodenkapazität (Pseudokapazität). Diese Eigenschaft kann bei den Elektroden der vorliegenden Erfindung entweder durch eine dünne ($<10 \text{ nm}$) Beschichtung mit einem entsprechenden Redoxsystem (z. B. RuO_2) oder durch direkte Bildung der nanostrukturierten Elemente aus eben diesem Material erreicht werden.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Superkondensators liegt darin, dass der nanostrukturierte Elektrodenfilm über geeignete Herstellungsverfahren aus beliebigen halbleitenden oder leitfähigen Materialien wie Metallen, Edelmetallen, Galvanometallen (galvanisch abscheidbare Metalle), insbesondere Nickel oder leitfähigen Polymeren erzeugt werden kann.

Die Herstellung der Trägerfolie und hierauf das Wachstum der nanostrukturierten Elemente kann bei Einsatz elektrochemischer Abscheidung in einem Arbeitsschritt erfolgen. Die Dicke der Trägerfolie ist dabei vorteilhaft zwischen 1 und $20 \mu\text{m}$ einzustellen. Damit wird die elektrische Leitfähigkeit, Kontaktierbarkeit und auch die mechanische Stabilität zum Aufbau einer Superkondensator-Einzelzelle bzw. Stapels garantiert.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: eine erfindungsgemäße Superkondensator-Elektrode;

Fig. 2: REM-Aufnahme einer erfindungsgemäßen Superkondensator-Elektrode;

Fig. 3: einen erfindungsgemäßen Superkondensator, bestehend aus einer Einzelzelle;

Fig. 4: einen erfindungsgemäßen Superkondensator, bestehend aus einem Stapel mehrerer Einzelzellen;

Fig. 5: Frequenzverhalten der spezifischen Helmholtz-Kapazitäten einer erfindungsgemäßen Superkondensator-Elektrode nach Fig. 2 in 1 molarer KOH.

Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Superkondensator-Elektrode aus einer freitragenden Folie 2 und hierauf verankerten nanostrukturierten, diskreten Elementen 1, die nadelförmig ausgebildet sind. Diskret im Sinne der vorliegenden Erfindung bedeutet, dass es sich um voneinander getrennte Elemente mit jeweils eigener Struktur handelt, also nicht um miteinander verbundene Elemente, wie dies z. B. bei einer schwammartigen Struktur der Fall ist.

Fig. 2 zeigt die REM-Aufnahme einer erfindungsgemäßen Superkondensator-Elektrode aus einer freitragenden Nickel-Folie 4 und hierauf verankerten nanostrukturierten Elementen 3 aus Nickel. Die nanostrukturierten nadelförmigen Elemente 3 sind in dieser Ausführung im wesentlichen senkrecht zur Oberfläche der Folie 4 orientiert und gleichmäßig über die Oberfläche der Folie 4 verteilt.

Fig. 3 zeigt einen erfindungsgemäßen Superkondensator. Er besteht in dieser Ausführung aus einer Einzelzelle, die

die Elektroden 8, 9, einen Abstandshalter 5, sowie einen flüssigen Elektrolyten 6, der die Elektroden und den Abstandshalter benetzt, umfaßt. Die Elektroden sind erfindungsgemäß in Form nanostrukturierter Dünnschichtelektroden ausgebildet. Der Abstandshalter 5 verhindert den mechanischen Kontakt zwischen den Elektroden 8, 9 und ist für den Elektrolyten durchlässig. Er ist für diesen Zweck z. B. porös ausgebildet. Bezugsziffer 7 bezeichnet die äußere Kontaktierung des Superkondensators. Wird anstatt eines flüssigen Elektrolyten ein Festkörperelektrolyt eingesetzt, entfällt der Abstandshalter 5.

Zum Aufbau der Zelle werden zwei erfindungsgemäße Elektroden 8, 9 auf den porösen Abstandshalter 5 angepresst, wobei die nanostrukturierten Seiten der beiden Elektroden 8, 9 einander zugewandt sind. Die Elektroden werden auf ihrer unstrukturierten Seite kontaktiert, das Gesamtsystem mit dem Elektrolyten 6 befüllt und in ein geeignetes Gehäuse eingefasst und abgedichtet.

Fig. 4 zeigt einen erfindungsgemäßen Superkondensator, der in dieser Ausführung aus einer Mehrzahl von n Einzelzellen besteht, die nach Art eines Stapels nebeneinander oder übereinander angeordnet sind.

Zum Aufbau des Stapels werden die Einzelzellen aufeinander gestapelt und angepresst. Somit entsteht über die leitfähigen Elektrodenfilme eine Reihenschaltung einzelner Kondensatorelemente ohne zusätzliche Kontaktierschritte. Die Kontaktierung des Stapels, das Befüllen mit Elektrolyt und Einfassen in ein Gehäuse geschieht analog zur Einzelzelle.

Fig. 5 zeigt ein Diagramm zum Frequenzverhalten der spezifischen Helmholtz-Kapazitäten (gestrichelte Linie: pro Masse; durchgezogene Linie: pro Volumen) einer erfindungsgemäßen Superkondensator-Elektrode. Als Elektrolyt wurde KOH eingesetzt.

Wie man daraus entnehmen kann, vermindert sich die Kapazität bei Frequenzbeaufschlagung gegenüber dem Gleichspannungswert (0 Hz) nur langsam und bleibt auch bei höheren Frequenzen, z. B. 100 Hz noch weitgehend erhalten.

Allgemein weisen die erfindungsgemäßen Elektroden vorteilhaft einen Gleichspannungswert der spezifischen Helmholtz-Kapazität von mehr als 10 F/g bzw. mehr als 10 F/cm^3 , besonders vorteilhaft mehr als 50 F/g bzw. mehr als 50 F/cm^3 auf.

Bei einer Frequenz von 100 Hz weisen die erfindungsgemäßen Elektroden vorteilhaft einen Wert der spezifischen Helmholtz-Kapazität von mehr als 1 F/g bzw. mehr als 1 F/cm^3 , besonders vorteilhaft mehr als 5 F/g bzw. mehr als 5 F/cm^3 auf.

Im nachfolgenden Beispiel wird die Herstellung einer erfindungsgemäßen Elektrode im Labormaßstab beschrieben. Im großtechnischen Maßstab können prinzipiell ähnliche Methoden zur Anwendung kommen.

Beispiel

Bei der anodischen Oxidation eines Aluminiumsubstrats entsteht ein nanoporöser Oxidfilm mit parallelen, durchgehend zylinderförmigen und senkrecht zur Substratoberfläche ausgerichteten Poren. Die Porendurchmesser können im Bereich von $15-500 \text{ nm}$, die Flächendichte der Poren von ca. 1 bis $500 \text{ pro } \mu\text{m}^2$, und die Porenlänge bis zu $100 \mu\text{m}$ eingestellt werden. Der Oxidfilm wird vom Aluminiumsubstrat abgelöst, so dass eine keramische nanoporöse Filtermembran entsteht. Diese Membran wird auf einer Seite mit einem metallischen Film als Kontaktelektrode bedampft. Die Filmdicke wird so gewählt, daß die Oxidporen verschlossen werden. Zur Erzeugung nanostrukturierter Nickel-Elemente auf einem Nickel-Film wird die bedampfte Membran kon-

taktiert und in ein galvanisches Nickelbad eingebracht. Bei galvanischer Abscheidung werden einerseits die Oxidporen von der aufgedampften Grundlektrode her mit den gewünschten nanostrukturierten Elementen aufgefüllt, andererseits wird die Grundlektrode zu einem metallischen Film im Mikrometerbereich aufgedickt. Anschließend kann die Oxidkeramik naßchemisch selektiv abgeätzt werden, so daß der gewünschte Elektrodenfilm mit leitfähig angebundenen nanostrukturierten Nickel-Elementen entsteht.

Patentansprüche

1. Elektrochemischer Kondensator aus einer Einzelzelle oder einem Stapel von Einzelzellen, wobei jede Einzelzelle eine Elektrode (8), eine Gegenelektrode (9) sowie einen die Elektroden (8, 9) benetzenden Elektrolyten (6) umfaßt, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektroden (8, 9) aus einem elektrisch leitfähigen oder halbleitenden, nanostrukturierten Film gebildet sind, bei dem nanostrukturierte diskrete, nadelförmige Elemente (1, 3) auf einer Oberfläche elektrisch leitfähig verankert sind.
2. Elektrochemischer Kondensator nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, dass die Flächendichte der nanostrukturierten Elemente zwischen 1 und 500 pro μm^2 liegt.
3. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die nanostrukturierten Elemente (1, 3) und die Oberfläche, auf der die nanostrukturierten Elemente (1, 3) verankert sind, aus dem gleichen Material bestehen.
4. Elektrochemischer Kondensator nach Anspruch 1, 2 oder 3 dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche, auf der die nanostrukturierten Elemente verankert sind, die Oberfläche einer freitragenden Folie (2, 4) ist.
5. Elektrochemischer Kondensator Anspruch 4 dadurch gekennzeichnet, dass die Folie (2, 4) eine Dicke zwischen 1 und 20 μm aufweist.
6. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die nanostrukturierten Elemente (1, 3) ein Aspektverhältnis größer als 20 aufweisen.
7. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die nanostrukturierten Elemente (1, 3) einen Durchmesser zwischen 15 und 500 nm besitzen.
8. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die nanostrukturierten Elemente (1, 3) monokristallin sind.
9. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die nanostrukturierten Elemente (1, 3) eine hohlzylinderförmige Struktur aufweisen.
10. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die nanostrukturierten Elemente (1, 3) eine innere Porosität aufweisen.
11. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die nanostrukturierten Elemente (1, 3) mit einem Redox-Material beschichtet sind oder vollständig aus diesem Material bestehen.
12. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die nanostrukturierten Elemente (1, 3) und/oder die Oberfläche, auf der die nanostrukturierten Elemente verankert sind, aus einem Metall, einem Galva-

nometall z. B. Nickel, einem Edelmetall oder einem leitfähigen Polymer bestehen.

13. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (8, 9) bei 0 Hz eine spezifische Helmholtz-Kapazität von mehr als 10 F/g, insbesondere mehr als 50 F/g aufweisen.

14. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (8, 9) bei 0 Hz eine spezifische Helmholtz-Kapazität von mehr als 10 F/cm³, insbesondere mehr als 50 F/cm³ aufweisen.

15. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (8, 9) bei 100 Hz eine spezifische Helmholtz-Kapazität von mehr als 1 F/g, insbesondere mehr als 5 F/g aufweisen.

16. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden (8, 9) bei 100 Hz eine spezifische Helmholtz-Kapazität von mehr als 1 F/cm³, insbesondere mehr als 5 F/cm³ aufweisen.

17. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die nanostrukturierten Elemente (1, 3) im wesentlichen senkrecht zu der Oberfläche orientiert sind.

18. Elektrochemischer Kondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektrolyt (6) ein flüssiger Elektrolyt oder ein Festkörperelektrolyt ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (0070)

Fig. 1

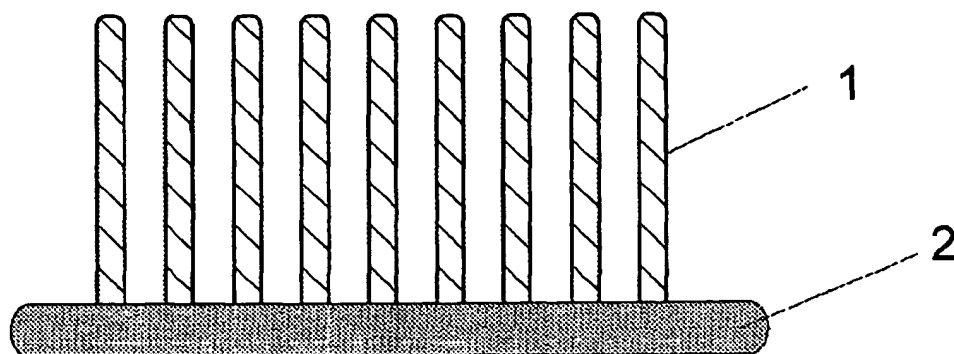


Fig. 2

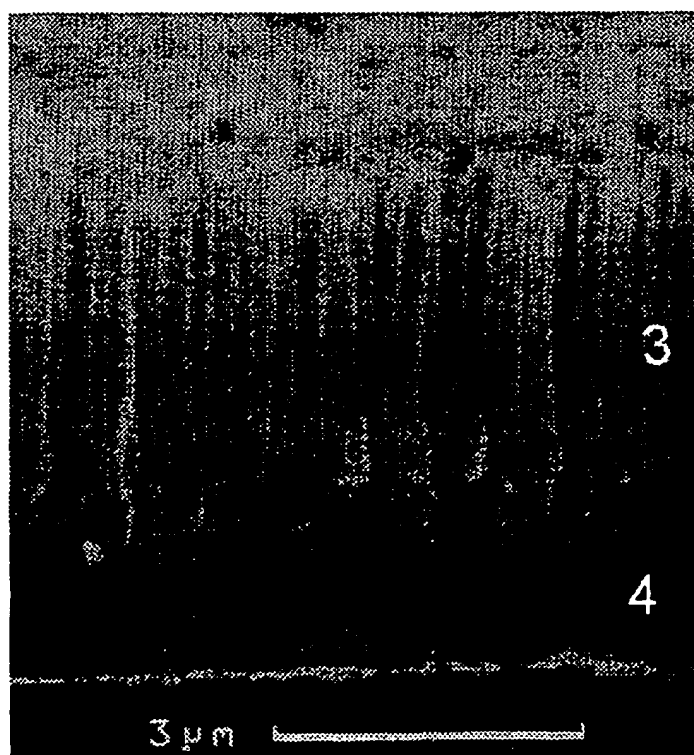


Fig. 3

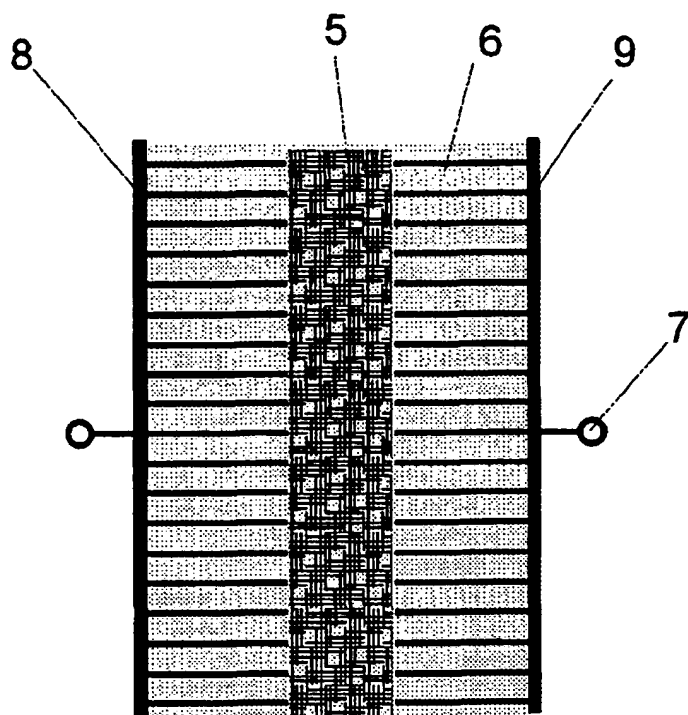


Fig. 4

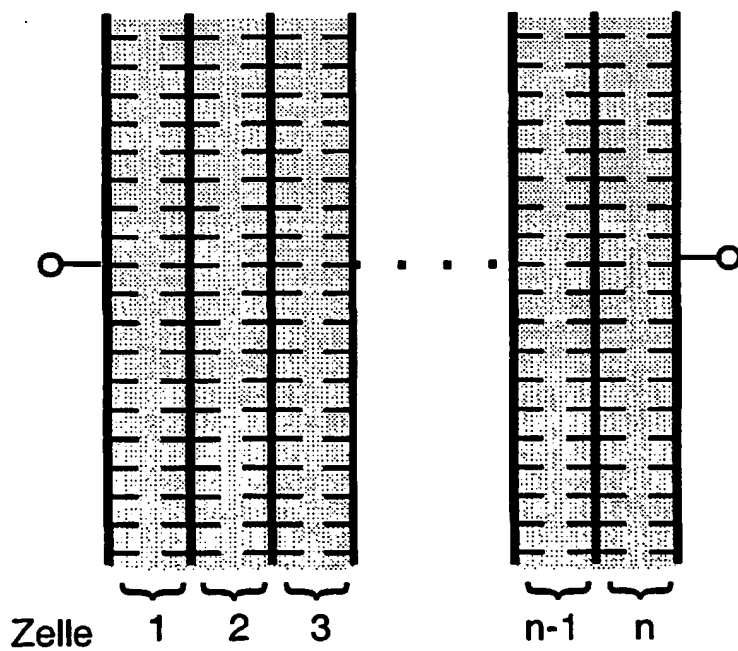
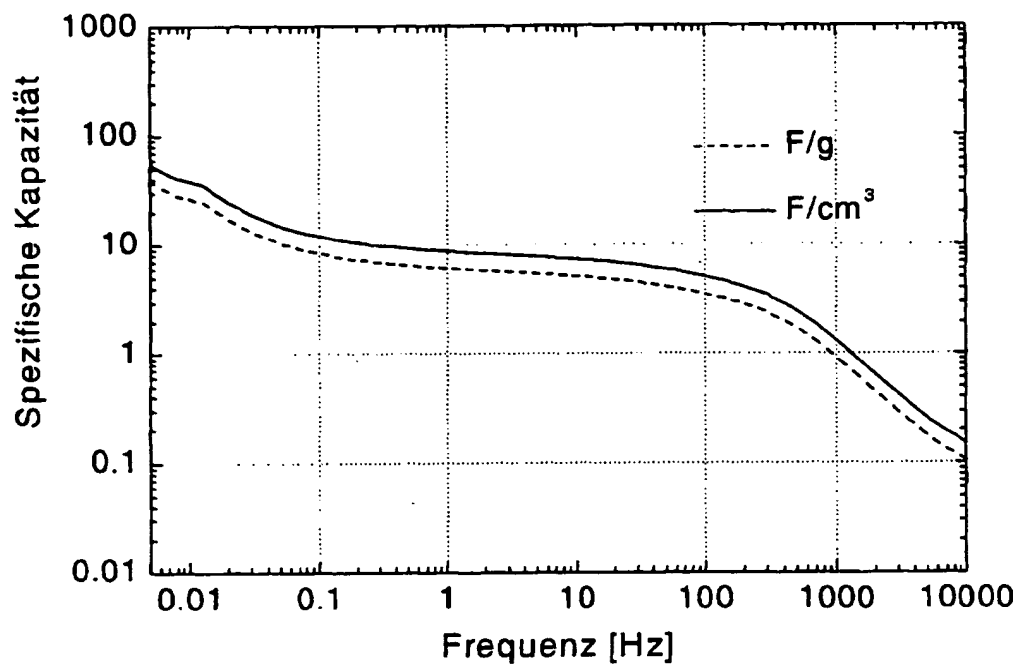


Fig. 5



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.